CLIPPEDIMAGE= JP02002054525A

PAT-NO: JP02002054525A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 2002054525 A

TITLE: PIEZOELECTRIC ELEMENT FOR INJECTOR

PUBN-DATE: February 20, 2002

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
KOBAYASHI, MASAYUKI	N/A
MITARAI, SHINYA	N/A
YAMAMOTO, TAKASHI	N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
DENSO CORP	N/A

APPL-NO: JP2001130167

APPL-DATE: April 26, 2001

INT-CL (IPC): F02M051/06;F02M051/02 ;H01L041/083 ;H01L041/09

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a piezoelectric element usable for a long time and having excellent durability when used in an injector.

SOLUTION: The piezoelectric element 1 is built into the injector and generates driving force for the injector. When a coercive electric field of the piezoelectric element 1 is Ec with a preset load of 500 N applied to the piezoelectric element, d(0.1 Ec)/d(1.2 Ec)>0.43 holds as a relationship between an apparent piezoelectric constant d(1.2 Ec) calculated from a static elongation obtained when an electric field of 1.2 Ec is applied in the same

direction as a direction of polarization and an apparent piezoelectric constant d(0.1 Ec) calculated from a static elongation obtained when an electric field of 0.1 Ec is applied in the same direction as the direction of polarization.

COPYRIGHT: (C)2002,JPO

* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any
damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2.**** shows the word which can not be translated.
3.In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]
[0001]
[Field of the Invention] this invention relates to the laminating type piezo-electric-crystal element used as a driving source of an injector.
[0002]
[Description of the Prior Art] Injectors (fuel injection equipment), such as an internal combustion engine of an automobile, change the pressure state which changes the switching condition of a fuel path and is given to a nozzle needle by ****** which moves the valve element of the method valve of three connected to the common rail which accumulated for example, high-pressure fuel, or the method valve of two, and by changing a nozzle needle into a valve-opening state, they are constituted so that fuel may be injected.
[0003] And generally as a driving source which moves the above-mentioned valve element, the solenoid valve etc. is used. On the other hand, for the purpose of controlling the above-mentioned driving source finely and performing precise control of a fuel-injection state, as shown in JP,11-229993,A, the attempt which is going to use a laminating type piezo-electric-crystal element as the above-mentioned driving source has been made.
[0004]
[Problem(s) to be Solved] However, although the injector which used the piezo-electric-crystal element for the driving source is proposed like the above, it has not yet resulted in utilization. In an injector, it is necessary to repeat spraying of fuel very much at high speed. For example, 10,000 spraying or more may be performed in 1 minute. Therefore, a very severe busy condition is imposed on the piezo-electric-crystal element used as this driving source. And in the conventional piezo-electric-crystal element, what can fully bear the above severe busy conditions was not yet developed, without causing a crack etc.
[0005] this invention was made in view of this conventional trouble, and when it applies to an injector, it tends to offer the piezo-electric-crystal element which was excellent in usable endurance over the long time.
[0006]
[Means for Solving the Problem] Invention of a claim 1 is a piezo-electric-crystal element which generates the driving force of this injector while being built in an injector. this piezo-electric-crystal element It comes by turns to carry out the laminating of two or more piezo-electric layers and the internal-electrode layer for applied-voltage supply which are displaced according to applied voltage. and this piezo-electric-crystal element When the anti-electric field are set to Ec, where a 500-N presetting load is given to the above-mentioned piezo-electric-crystal element The piezoelectric constant d of the appearance computed from the static elongation when giving the electric field of 1.2Ec(s) in the same direction as the direction of polarization (1.2Ec) It is in the piezo-electric-crystal element for injectors characterized by materializing d (0.1Ec) / relation of d(1.2Ec) > 0.43 between the piezoelectric constants d of the appearance computed from the static elongation when giving the electric field of 0.1Ec(s) in the same direction as the direction of polarization (0.1Ec).
[0007] The point which should be most noted in this invention is that d (1.2Ec) is size from d (0.1Ec)/0.43. the piezo-electricity which begins a variation rate almost immediately by the voltage seal of approval in case a piezo-electric-crystal element displaces -- a variation rate -- a component and 90-

degree rotation component which begins a variation rate with after [a voltage seal of approval] delay -- existing -- these sum totals -- the whole variation rate -- it becomes an amount
[0008] the variation rate at the time of this invention persons giving 1.2 times as many electric field as the anti-electric field Ec (it mentions later for details) further -- an amount -- the above-mentioned piezo-electricity -- a variation rate -- the variation rate at the time of being the thing of the sum total with a component and 90-degree rotation component, and giving 0.1 times as many electric field as the anti-electric field Ec -- an amount -- 90-degree rotation component -- almost -- there is nothing -- almost -- piezo-electricity -- a variation rate -- the variation rate only by the component
[0009] therefore, the piezo-electricity which will contribute to the variation rate in the above-mentioned piezo-electric-crystal element if those ratios are computed by asking for these apparent piezoelectric constants d, respectively -- a variation rate -- the rate of an abundance ratio of a component can be obtained namely, the piezo-electricity at the time of a piezo-electric-crystal element displacing Above d (0.1Ec)/d (1.2Ec) -- a variation rate -- it becomes the value which substituted for the rate of an abundance ratio of a component
[0010] Here, let the value of Above d (0.1Ec)/d (1.2Ec) be a larger value than 0.43 in this invention. thereby -- a variation rate -- the inside of a component, and piezo-electricity -- a variation rate -- a piezo-electric-crystal element with the rate of an abundance ratio of a component higher than 90-degree rotation component can be obtained And in this case, since there are few ratios of 90-degree rotation component, calorific value accompanying the repeat of the variation rate of a piezo-electric-crystal element can be lessened. Moreover, so, the endurance of a piezo-electric-crystal element can be raised.
[0011] Therefore, according to this invention, when it applies to an injector, the piezo-electric-crystal element which was excellent in usable endurance over the long time can be offered.
[0012] Moreover, it is more desirable like invention of a claim 2 that d (0.1Ec) / relation of d (1.2Ec) >=0.5 is materialized between the above-mentioned piezoelectric constant d (1.2Ec) and the above-mentioned piezoelectric constant d (0.1Ec). Thereby, the above-mentioned operation effect can be demonstrated still more certainly.
[0013] Invention of a claim 3 is a piezo-electric-crystal element which generates the driving force of this injector while being built in an injector. next, this piezo-electric-crystal element It comes by turns to carry out the laminating of two or more piezo-electric layers and the internal-electrode layer for applied-voltage supply which are displaced according to applied voltage. and this piezo-electric-crystal element [when alternating voltage is impressed so that 1.5kV //mm / field strength may arise from 0 by the sin wave, where a 500-N presetting load is given] The rate of change of the amount of displacement at the time of changing the frequency of the voltage to impress from 1Hz to 200Hz is in the piezo-electric-crystal element for injectors characterized by being smallness from 9%.
[0014] The point which should be most noted in this invention is that the rate of change of the amount of displacement in the above-mentioned conditions is smallness from 9%. When this rate of change is 9% or more, drive speed of a piezo-electric-crystal element can seldom be raised. In addition, as small, since the more nearly high-speed drive of this rate of change is attained, it is more desirable. So, 7% or less is more desirable. the above -- a variation rate -- a variation rate in case the frequency of the voltage which the rate of change of an amount impresses is 1Hz -- an amount -- the variation rate in Y1,200Hz -- when an amount is set to Y200, it is the value expressed by 100x (Y1-Y200) / Y1 Moreover, let the amount of displacement be a value 5 seconds after after voltage impression.
[0015] Next, it explains per operation effect of this invention. the piezo-electric-crystal element of this invention -- the above -- a variation rate -- the rate of change of an amount is smaller than 9% That is, even if it raises the frequency to impress, the amount of displacement seldom falls. And even if it raises frequency and raises drive speed, sufficient amount of displacement is obtained. Therefore, the piezo-electric-crystal element of this invention is stabilized, and has drive speed raised. And even if the number of times of injection for 1 minute is 10,000 times, the variation rate (expansion and contraction) of a piezo-electric-crystal element can be repeated with a margin. So, the piezo-electric-crystal element of this invention demonstrates the endurance which was excellent when it applied to an injector, and is usable over a long time.
[0016] Invention of a claim 4 is a piezo-electric-crystal element which generates the driving force of this injector while being built in an injector. next, this piezo-electric-crystal element It is in the piezo-

electric-crystal element for injectors which comes by turns to carry out the laminating of two or more piezo-electric layers and the internal-electrode layer for applied-voltage supply which are displaced according to applied voltage, and is characterized by the amount of displacement increasing by the rise of temperature within the limits of -40 degrees C - 150 degrees C, as for this piezo-electric-crystal element.

[0017] The point which should be most noted in this invention is that the amount of displacement in the above-mentioned specific temperature requirement increases with the rise of temperature.

[0018] Next, it explains per operation effect of this invention. In the injector using the piezo-electric-crystal element, since the displacement loss by the viscosity of fuel falling and leaker increasing and the displacement loss by the bulk-modulus fall of fuel arise, in connection with a temperature rise, the amount of required displacement of a piezo-electric-crystal element increases.

[0019] To change of this amount of required displacement, the control circuit of an amendment sake is needed in this. However, in order to perform the amendment by the circuit, enlargement of a control circuit scale will be caused. On the other hand, the piezo-electric-crystal element of this invention has the property of increasing the amount of displacement in connection with a temperature rise. Therefore, the control circuit which controls the amount of displacement can be made into comparatively easy structure, and the miniaturization can be attained. So, it becomes easy to apply the piezo-electric-crystal element of this invention to an injector.

[0020] Moreover, as for the rate of increase of the amount of displacement in a -40 degrees C - 150 degrees C temperature requirement, it is desirable like invention of a claim 5 that it is 5 - 40%. In this case, increase of the amount of required displacement of the piezo-electric-crystal element accompanying the above-mentioned temperature rise is easily suppliable. the above -- a variation rate -- the rate of change of an amount -- the variation rate in -40 degrees C -- an amount -- the variation rate in Y-40,150 degrees C -- when an amount is set to Y150, it is the value expressed by 100x (Y150-Y-40) / Y-40

[0021] Invention of a claim 6 is a piezo-electric-crystal element which generates the driving force of this injector while being built in an injector. next, this piezo-electric-crystal element It comes by turns to carry out the laminating of two or more piezo-electric layers and the internal-electrode layer for applied-voltage supply which are displaced according to applied voltage, and is in the piezo-electric-crystal element for injectors to which dielectric loss which asked for this piezo-electric-crystal element from the P-E hysteresis is characterized by being smallness from 8%.

[0022] The point which should be most noted in this invention is that the dielectric loss for which it asked from the above-mentioned P-E hysteresis is smallness from 8%. In the graph which took Charge P for the field strength E which carried out the seal of approval to the horizontal axis along the vertical axis, the above-mentioned P-E hysteresis takes tracing of the value of the charge P at the time of making it back-fall which raised the above-mentioned field strength to 1.5kV/mm, and is acquired (refer to the example of an operation gestalt).

[0023] When the dielectric loss for which it asked from this P-E hysteresis is 8% or more, exoergic temperature becomes high and there is a problem of seldom raising drive speed. Therefore, considering as 7% or less is more desirable. In addition, as the dielectric loss for which it asked from this P-E hysteresis is small, it is more desirable from generation of heat being suppressed.

[0024] Next, it explains per operation effect of this invention. The dielectric loss which asked for the piezo-electric-crystal element of this invention from the P-E hysteresis like the above is smallness from 8%. Therefore, as shown also in the example of an operation gestalt mentioned later, when a piezo-electric-crystal element is driven at high speed, generation of heat of a piezo-electric-crystal element can be suppressed, and endurance can be raised remarkably. So, the piezo-electric-crystal element of this invention demonstrates the endurance which was excellent when it applied to an injector, and is usable over a long time.

[0025]

[Embodiments of the Invention] It explains using drawing 1 - drawing 5 about the piezo-electric-crystal element for injectors concerning the example of an operation form of example of operation form 1 this invention. The piezo-electric-crystal element 1 for injectors of this example is a piezo-electric-crystal element which generates the driving force of an injector 5 while being built in an injector 5, as shown in drawing 5 . This piezo-electric-crystal element 1 comes by turns to carry out the laminating of two or more piezo-electric layers 11 and the internal-electrode layers 21 and 22 for applied-voltage supply which are displaced according to applied voltage, as shown in drawing 1 . And the piezo-electric-crystal element 1 is in the state which gave the 500-N presetting load to the piezo-electric-crystal element 1, when the anti-electric field are set to Ec. The piezoelectric constant d of the appearance computed from the static elongation when giving the electric field of 1.2Ec(s) in the same direction as the direction of polarization (1.2Ec) Between the piezoelectric constants d of the appearance computed from the static elongation when giving the electric field of 0.1Ec(s) in the same direction as the direction of polarization (0.1Ec), d (0.1Ec) / relation of d(1.2Ec) > 0.43 is materialized. Hereafter, this is explained in full detail.

[0026] As are shown in drawing 1 and drawing 2 , and the piezo-electric-crystal element 1 serves as positive/negative by turns in the above-mentioned internal-electrode layers 21 and 22 between the layers of the above-mentioned piezo-electric layer 11, it forms and it becomes. As shown in this drawing, one internal-electrode layer 21 is arranged so that it may expose to one side 101, and the internal-electrode layer 22 of another side is arranged so that it may expose to the side 102 of another side. And the side electrodes 31 and 32 were formed so that the side 101,102 of the piezo-electric-crystal element 1 might be made to flow through the edge of the exposed internal-electrode layers 21 and 22.

[0027] Moreover, in the piezo-electric-crystal element 1, the portion arranged in a part for the center section of the direction of a laminating so that a mechanical component 111 and this may be pinched was made into the buffer section 112, and the portion arranged so that this buffer section 112 may be pinched further was made into the dummy section 113.

[0028] The manufacture method of this piezo-electric-crystal element 1 and detailed structure are explained. The piezo-electric-crystal element 1 of this example can be manufactured using the green-sheet method used widely. Weighing capacity of the green sheet is carried out so that it may become composition of a request of powder, such as a lead oxide which serves as the main raw material of piezoelectric material by the well-known method, a zirconium oxide, titanium oxide, a niobium oxide, and a strontium carbonate. It was made for final composition to serve as the so-called PZT (PZT) in this example. moreover, leaden evaporation -- taking into consideration -- the above -- a mixing ratio -- it prepares so that it may become rich 1 to 2% rather than the stoichiometry of composition d (0.1Ec)/d (1.2Ec)0.43 [in addition,] which tuned the content of the composition component of PZT finely and was mentioned above in this example -- size -- 0.5 or more and the bird clapper were aimed at preferably And these raw materials are blended dryly with a mixer, and temporary quenching is carried out at 800-950 degrees C after that.

[0029] In addition, from the above d (0.1Ec)/d (1.2Ec)0.43, as size and electrostrictive ceramics which becomes 0.5 or more preferably, although the composition component of Above PZT was adjusted, it can also obtain by adjusting the composition component using others and various electrostrictive ceramics.

[0030] Subsequently, pure water and a dispersant are added to temporary-quenching powder, it considers as a slurry, and wet grinding is carried out with a pearl mill. A solvent, a binder, a plasticizer, a dispersant, etc. are added and this trituration object is mixed with a ball mill, after carrying out powder degreasing, dryness and. Then, vacuum degassing and viscosity control are carried out, stirring this slurry with an agitator within vacuum devices.

[0031] Subsequently, a slurry is fabricated to the green sheet of fixed thickness with doctor blade equipment. The collected green sheet is pierced with a press machine, or a cutting machine cuts it, and it is fabricated on the rectangle object of a predetermined size. The green sheet is common to a mechanical component, the buffer section, and the dummy section.

[0032] Subsequently, for example, silver/palladium = screen-stencil fabrication of the pattern is carried out on one front face of the green sheet after fabrication with the paste (henceforth a Ag/Pd paste) of the silver and palladium which consist of 7/3 of ratios. An example of the green sheet after pattern printing is shown in drawing 3 (a). In addition, the same sign is substantially given to the same portion on account of explanation.

[0033] In the front face of a green sheet 11 used as a piezo-electric layer, all over [this] abbreviation, mist and the small pattern 21 (22) are formed and it considers as the internal-electrode layer 21 (22) with the above-mentioned Ag/Pd paste. The agenesis section 119 of the internal-electrode layer 21 (22) is formed in one opposite side side of the front face of a green sheet 11. That is, this has been arranged so that the internal-electrode layer 21 (22) may not arrive at one edge (portion equivalent to the side 101 or ** 102 of the piezo-electric-crystal element 1) of the opposite side of a green sheet 11 but the internal-electrode layer 21 (22) may reach the other-end section which counters.

[0034] The green sheet 11 in which such an internal-electrode layer 21 (22) was formed is prepared by predetermined laminating number of sheets based on the requirement specification of a mechanical component 111 and the amount of buffer section 112 displacement. Moreover, the green sheet 12 which is not printing the internal-electrode layer the buffer section 112 and for dummy section 113 also makes required number-of-sheets preparations.

[0035] Subsequently, these green sheets 11 and 12 are piled up. Drawing 4 shows the laminating state of green sheets 11 and 12, and serves as an exploded view of the piezo-electric-crystal element 1 substantially. In piling up the green sheet 11 in which the internal-electrode layer 21 (22) was formed, it piles up so that the agenesis section 119 of an electrode may be located in the left-hand side in drawing, and right-hand side by turns. The internal-electrode layer 21 attained and exposed to the side 101 on the right-hand side of [in drawing] a green sheet 11 serves as an internal electrode of one pole by this, and the internal-electrode layer 22 attained and exposed to the side 102 of the left-hand side in drawing serves as an internal electrode of the pole of another side.

[0036] And in the central mechanical component 111, as shown in drawing 4 , a laminating is carried out only using the green sheet 11 in which the above-mentioned internal-electrode layer 21 (22) was formed, the green sheet 12 which does not form the internal-electrode layer between green sheets 11 in the buffer section 112 is made to intervene, a laminating is carried out, and a laminating is carried out only using the green sheet 12 which does not form the internal-electrode layer in the dummy section 113. This becomes the layered product of the structure shown drawing 2.

[0037] Subsequently, it degreases by the 400-700-degree C basis with an electric furnace after the thermocompression bonding by the warm water rubber press etc., and calcinates by the 900-1200-degree C basis. Subsequently, the external electrodes 31 and 32 are formed by applying and printing the above-mentioned Ag/Pd paste or Ag paste on the side of the above-mentioned layered product. The external electrode 31 is formed in the position which the internal-electrode layer 21 of one pole has exposed, and takes the flow of each internal-electrode layer 21. The external electrode 32 of another side is formed in the position which the internal-electrode layer 22 of the pole of another side has exposed, and takes the flow of each internal-electrode layer 22. Then, this is immersed into insulating oil, direct current voltage is impressed between the internal-electrode layer 21 and 22 from the external electrodes 31 and 32, the piezo-electric layer 11 is polarized, and the piezo-electric-crystal element 1 is obtained.

[0038] In addition, like the above, by using the green sheet (piezo-electric layer) 12 of the same quality of the material as the piezo-electric layer 11 used for the mechanical component 111, as the kind of the above-mentioned dummy section 113 of manufacture material did not increase, it aimed at reduction of a manufacturing cost. However, the piezo-electric layer 12 of this dummy section 113 may be constituted from an another material, for example, an insulating magnetic material can also constitute.

[0039] It sets for the piezo-electric-crystal element 1 of this example here. an important point When the anti-electric field are set to Ec, where a 500-N presetting load is given to the piezo-electric-crystal element 1 The piezoelectric constant d of the appearance computed from the static elongation when giving the electric field of 1.2Ec(s) in the same direction as the direction of polarization (1.2Ec) It is the point that d (0.1Ec) / relation of d(1.2Ec) > 0.43 is materialized between the piezoelectric constants d of the appearance computed from the static elongation when giving the electric field of 0.1Ec(s) in the same direction as the direction of polarization (0.1Ec).

[0040] Here, the anti-electric field Ec are explained first. Drawing 6 is explanatory drawing of the above-mentioned anti-electric field Ec. the field strength (voltage) which gives this drawing to a horizontal axis at a piezo-electric-crystal element -- a vertical axis -- a variation rate -- an amount is taken In addition, field strength considers the same side as the direction of polarization as plus (+), and considers the direction of polarization, and an opposite side as minus (-).

[0041] And it starts from A points, a field strength seal of approval is first carried out to the piezo-electric-crystal element 1 in the same direction with the direction of polarization, and the value is raised gradually. According to this, the amount of displacement of the piezo-electric-crystal element 1 increases. Next, after field strength reaches the B point which is 150V, field strength is gradually made low. According to the fall of this field strength, the amount of displacement decreases shortly. And after field strength is set to 0, field strength is continuously reduced in the direction contrary to the direction of polarization gradually. According to this, the amount of displacement decreases further. In this example, when field strength is set to -90V (C points), the amount of mutation starts to increase. The absolute values (90V) of the field strength of this point are the anti-electric field Ec in this invention.

[0042] And after field strength reaches after that D points which are -150V, field strength is raised again. According to this, the amount of displacement decreases shortly. And if field strength is set to 0 and raises field strength in the direction of polarization further, the amount of mutation will start to increase. Although this field strength of D points is also called anti-electric field, Ec as used in the field of this invention does not carry out. In this invention, the anti-electric field at the time of carrying out the seal of approval of the voltage in the direction contrary to the direction of polarization to the last are set to Ec. By raising field strength further after that, finally it will be in the almost same state as the B point, and the same behavior will be repeated after that.

[0043] It asks for each above-mentioned piezoelectric constants d (0.1Ec) and d (1.2Ec) based on calculated Ec like the above. It can ask for a piezoelectric constant with the inclination of the graph at the time of creating the rate of change of the variation rate at the time of making the field strength which carries out a seal of approval gradually increase, i.e., the graph of the relation between field strength and the amount of displacement. Therefore, in this example, the displacement-voltage hysteresis in the case of making the seal of approval of the field strength of 150V carry out in the same direction as the direction of polarization was searched for.

[0044] Drawing 7 takes field strength (voltage) (V) along a horizontal axis, and takes the amount (micrometer) of displacement along a vertical axis. And where a 500-N presetting load is given from the upper and lower sides of the piezo-electric-crystal element 1, the seal of approval of the voltage is carried out in the same direction as the direction of polarization, and the value is increased gradually. And tracing of the amount of displacement is plotted to drawing 7 . In this example, it carried out until field strength was set to 150V. In addition, although it plotted when reducing field strength in this drawing until it was gradually set to 0 from 150V, and it asked for the hysteresis curve, only the case where field strength is made to increase in this example is important.

[0045] And each above-mentioned piezoelectric constant can be defined by rate of change in case the value is 0.1Ec(s) (9V), and the rate of change in the case of being 1.2Ec (108V), when making field strength increase. In this example, the piezoelectric constant d (0.1Ec) was 0.37, and the piezoelectric constant d (1.2Ec) was 0.68. Therefore, these ratios were obtained by 0.37/0.68, are 0.54 and had fully exceeded 0.43.

[0046] Next, an example of an injector which can use the piezo-electric-crystal element 1 of the above-mentioned composition as a driving source is explained briefly. An injector 5 is applied to the common rail injection system of a diesel power plant, as shown in drawing 5 . This injector 5 has the up housing 52 with which the above-mentioned piezo-electric-crystal element 1 as a mechanical component is held, and the lower housing 53 with which it is fixed to the soffit and the injection nozzle section 54 is formed in the interior, as shown in this drawing.

[0047] It is pillar-shaped and, as for the up housing 52, insertion fixation of the piezo-electric-crystal element 1 is carried out into the approximate circle dugout 521 which carries out eccentricity to a medial axis. The high-pressure fuel path 522 is established in the side of a dugout 521 in parallel, and the upper-limit section is open for free passage to the external common rail (****) through the inside of the fuel introduction pipe 523 which projects in the up housing 52 top section.

[0048] The fuel which the fuel delivery tube 525 which is open for free passage to the drain path 524 protrudes on the up housing 52 top section, and flows out of the fuel delivery tube 525 is returned to a fuel tank (****). The drain path 524 opens for free passage and uses the inside of the vertical housing 52 and 53 as the method valve 551 of three later mentioned by the path which is prolonged caudad, and which is not illustrated from this crevice 50 further via the crevice 50 between a dugout 521 and a mechanical component (piezo-electric-crystal element) 1, and is **.

[0049] The injection nozzle section 54 is equipped with the nozzle hole 543 which injects the high-pressure fuel which is opened and closed by the nozzle needle 541 which slides on the inside of the piston body 531 in the vertical direction, and the nozzle needle 541, and is supplied from the reserve-well ball 542 in each cylinder of an engine. The reserve-well ball 542 is formed in the circumference of the pars intermedia of the nozzle needle 541, and the soffit section of the above-mentioned high-pressure fuel path 522 is carrying out opening here. If the fuel pressure of the valve-closing direction is received from the back pressure room 544 faced and established in the upper-limit side and the pressure of the back pressure room 544 descends while the nozzle needle 541 receives the fuel pressure of the valve-opening direction from the reserve-well ball 542, the nozzle needle 541 will carry out a lift, a nozzle hole 543 will be opened wide, and fuel injection will be made.

[0050] The pressure of the back pressure room 544 is fluctuated by the method valve 551 of three. The method valves 551 of three are the back pressure room 544, the high-pressure fuel path 522 or the drain path 524, and composition made to open for free passage alternatively. Here, it has the valve element of the shape of a ball which opens and closes the port which is open for free passage to the high-pressure fuel path 522 or the drain path 524. This valve element is driven by the above-mentioned mechanical component 1 through the major-diameter piston 552 arranged caudad, the oil pressure room 553, and the minor diameter piston 554.

[0051] Next, it explains per operation effect of this example. the piezo-electric-crystal element 1 of this example -- the ratios d (0.1Ec)/d (1.2Ec)0.43 of the above-mentioned piezoelectric constant -- size -- it is 0.5 or more preferably Therefore, while excelling in thermal resistance, the endurance which was very excellent is demonstrated. namely, -- since d (1.2Ec) is size from the ratios d (0.1Ec)/0.43 of a piezoelectric constant like the above -- the above-mentioned piezo-electric-crystal element 1 -- the variation rate -- the inside of a component -- efficient piezo-electricity -- a variation rate -- the component occupies more than the half Therefore, there are few energy losses at the time of repeating a variation rate, and self-generation of heat also has them. [little] Compared with the case where the ratios d (0.1Ec)/d (1.2Ec) of the above-mentioned piezoelectric constant are 0.43 or less, it excels also in thermal resistance and endurance also improves. So, the piezo-electric-crystal element 1 of this example demonstrates the endurance which was excellent when it applied to an injector 5, and is usable over a long time.

[0052] In the example of two examples of an operation gestalt, although it was the same structure as the piezo-electric-crystal element 1 in the example 1 of an operation gestalt, the piezo-electric-crystal element (a sample 1 - sample 4) which is four kinds from which composition of a piezo-electric layer differs was prepared, and it asked for the ratios d (0.1Ec)/d (1.2Ec) of the above-mentioned piezoelectric constant, respectively. And the temperature rise by self-generation of heat of each piezo-electric-crystal element was measured. Moreover, the endurance of a piezo-electric-crystal element was judged based on the result. Although each prepared piezo-electric-crystal element used PZT as a piezo-electric layer, it changed the component composition, and it was adjusted so that the ratios of the above-mentioned piezoelectric constant might differ.

[0053] The measured value of the ratios d (0.1Ec)/d (1.2Ec) of the piezoelectric constant in each sample was shown in Table 1. This measuring method is the same as the case of the example 1 of an operation gestalt mentioned above. Moreover, measurement of the temperature rise by self-generation of heat made the piezo-electric-crystal element drive as the seal-of-approval voltage of 0-1.5kV/mm, and frequency of 200Hz, and was performed by measuring the temperature on the front face of the side of the center of the direction of a laminating.

[0054] The result is shown in Table 1. As known in Table 1, in the adult case, the elevation temperature by self-generation of heat was all suppressed by 100 degrees C or less from the above-mentioned ratios d (0.1Ec)/d (1.2Ec)0.43. On the other hand, when the above-mentioned ratio was 0.43 or less, a temperature rise which exceeds 100 degrees C was seen. When predicting from these temperature rises etc. and the durability test operated 1x109 times, for example is performed, the above-mentioned ratio is considered that the endurance which the adult thing clearance (O) Carried out this, and was excellent is shown, clear [of this examination] cannot be carried out to the case of 0.43 or less, and improvement in (x) endurance is not found from 0.43.

[0055]

[Table 1]

(表1)

試料	圧電定数 d(0. 1Ec)／d(1. 2Ec)	上昇温度 (℃)	耐久性
1	0.40	118	×
2	0.43	110	×
3	0.50	98	○
4	0.65	80	○

[0056] In the example of three examples of an operation gestalt, the rate of change of the amount of displacement to the frequency of the applied voltage of each piezo-electric-crystal element was measured using four samples (a sample 1 - sample 4) in the example 2 of an operation gestalt. Specifically, it is in the state which gave the 500-N presetting load to each sample, and alternating voltage was impressed so that 1.5kV [/mm] field strength might arise from 0 by the sin wave. And as shown in drawing 8 , the frequency of the voltage to impress was gradually changed from 1Hz to 200Hz, and the amount of displacement of a piezo-electric-crystal element was calculated. Drawing 8 is an example which shows the rate of change of the amount of displacement, the frequency of applied voltage is taken along a horizontal axis, and the amount of displacement of a piezo-electric-crystal element is taken along a vertical axis.

[0057] Table 2 -- the above of each sample -- a variation rate -- while the rate of change of an amount was shown, the measurement result of the elevation temperature by self-generation of heat of a piezo-electric-crystal element was shown consequently, a variation rate -- rate of change -- 9% -- smallness -- elevation temperature was also preferably suppressed by 100 degrees C or less at 7.0% or less of case So, it was considered (O) which is excellent also in the endurance. Moreover, when displacement rate of change is 9% or more, elevation temperature is also high and the improvement in endurance can seldom be expected (x).

[0058]

[Table 2]

(表2)

試料	変位変化率(%)	上昇温度 (℃)	耐久性
1	12	118	×
2	9	110	×
3	7	98	○
4	3	80	○

[0059] In the example of four examples of an operation gestalt, using four samples (a sample 1 - sample 4) in the example 2 of an operation gestalt, it asked for dielectric loss from the P-E hysteresis (charge-voltage hysteresis) of each piezo-electric-crystal element, and the relation between this value and the elevation temperature by self-generation of heat was investigated. First, the P-E hysteresis of each sample was searched for as follows.

[0060] The fixture 6 was prepared as shown in drawing 9 . The fixture 6 has the two guide poles 62 set up on the plinth 61. The bridge section 63 is arranged by this guide pole 62, and the press section 64 which has the press board 641 in the center of this bridge section 63 is arranged in it. The piezo-electric-crystal element 1 is arranged so that it may insert between the press board 641 and a plinth 61. And the press board 641 gives the preload (presetting load) of 10MPa with the pan spring 65 arranged between this and the bridge section 63.

[0061] It comes, whenever it impresses the voltage of the field strength of 0-1.5kV/mm, the frequency of 100Hz, and a sin wave and is shown in drawing 10 to the piezo-electric-crystal element 1 in this state, and a hysteresis is searched for. This drawing takes E:electric field (v/mm) along a horizontal axis, and takes the integration value (density of electric charge) (C/mm2) of P:current along a vertical axis. And voltage was made to increase in the same direction as the direction of polarization gradually, and tracing of the above P at the time of making it decrease gradually after that was plotted.

[0062] And first, as shown in this drawing, area of the portion surrounded by the obtained hysteresis curve is set to S1. Next, as shown in drawing 11 , it asks for the area S2 of the triangle surrounded by the line and horizontal axis which hung on the horizontal axis from the line which connected the highest value point Q of Zeros O and P, and Above Q. Dielectric loss is computable by using these values. That is, dielectric loss (%) is computable S1/S2/(2pi) x100.

[0063] Thus, the obtained dielectric loss can estimate the dielectric loss produced when a piezo-electric-crystal element is real-used compared with the dielectric loss measured in 1V with an impedance analyzer which is usually performed.

[0064] Next, the dielectric loss for which it asked from each samples 1-4 as mentioned above is shown in Table 3. Moreover, the elevation temperature by self-generation of heat searched for like the example 1 of an operation gestalt is also doubled and shown. As known in Table 3, smallness and the temperature temperature according to self-generation of heat in 7% or less of case preferably were also suppressed for the dielectric loss for which it asked based on the above-mentioned P-E hysteresis rather than 8% at 100 degrees C or less. So, it was considered (O) which is excellent also in the endurance. Moreover, when displacement rate of change is 8% or more, elevation temperature is also high and the improvement in endurance can seldom be expected (x).

[0065]

[Table 3]

(表3)

試料	誘電損失(%)	上昇温度(℃)	耐久性
1	10	118	×
2	8	110	×
3	7	98	○
4	2	80	○

[0066] In addition, it is not based on the configuration of a piezo-electric-crystal element, but the invention in this application can acquire the operation effect, for example, as shown in drawing 12 , when the piezo-electric-crystal element 1 is a cross-section barrel type configuration, it can acquire the same operation effect as the above. Furthermore, as shown in drawing 13 , when the piezo-electric-crystal element 1 is a cross-section octagon, the same operation effect as the above can be acquired.

[Translation done.]

(19)日本国特許庁（ＪＰ）

(12) 公 開 特 許 公 報（Ａ）

(11)特許出願公開番号
特開2002－54525
（P2002－54525A）

(43)公開日 平成14年２月20日(2002.2.20)

(51)Int.Cl.^{7}		識別記号	ＦＩ		テーマコード(参考)
Ｆ０２Ｍ	51/06		Ｆ０２Ｍ	51/06	Ｎ　３Ｇ０６６
	51/02			51/02	Ｆ
Ｈ０１Ｌ	41/083		Ｈ０１Ｌ	41/08	Ｓ
	41/09				Ｕ

審査請求 未請求 請求項の数６ ＯＬ （全 10 頁）

(21)出願番号 特願2001－130167(P2001－130167)

(22)出願日 平成13年４月26日(2001.4.26)

(31)優先権主張番号 特願2000－163233(P2000－163233)
(32)優先日 平成12年５月31日(2000.5.31)
(33)優先権主張国 日本（ＪＰ）

(71)出願人 000004260
株式会社デンソー
愛知県刈谷市昭和町１丁目１番地
(72)発明者 小林 正幸
愛知県刈谷市昭和町１丁目１番地 株式会社デンソー内
(72)発明者 御手洗 真也
愛知県刈谷市昭和町１丁目１番地 株式会社デンソー内
(74)代理人 100079142
弁理士 高橋 祥泰

最終頁に続く

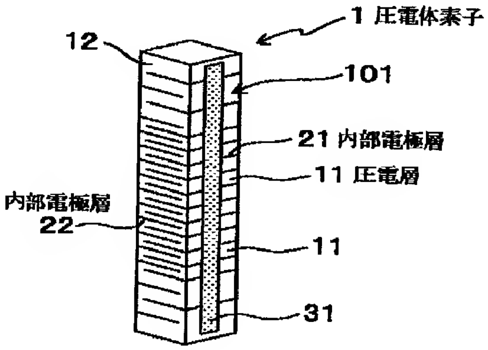
(54)【発明の名称】 インジェクタ用圧電体素子

(57)【要約】

【課題】 インジェクタに適用した場合に長時間にわたって使用可能な耐久性に優れた圧電体素子を提供すること。

【解決手段】 インジェクタに内蔵されると共にインジェクタの駆動力を発生する圧電体素子１であって，圧電体素子１は，その抗電界をＥｃとした場合に，上記圧電体素子に対して５００Ｎのプリセット荷重を付与した状態で，分極方向と同じ方向に１．２Ｅｃの電界を与えたときの静的伸びから算出される見掛けの圧電定数ｄ（１．２Ｅｃ）と，分極方向と同じ方向に０．１Ｅｃの電界を与えたときの静的伸びから算出される見掛けの圧電定数ｄ（０．１Ｅｃ）との間に，ｄ（０．１Ｅｃ）／ｄ（１．２Ｅｃ）＞０．４３の関係が成立する。

（図１）



【特許請求の範囲】

【請求項１】　インジェクタに内蔵されると共に該インジェクタの駆動力を発生する圧電体素子であって，該圧電体素子は，印加電圧に応じて変位する複数の圧電層と印加電圧供給用の内部電極層とを交互に積層してなり，かつ，該圧電体素子は，その抗電界をＥｃとした場合に，上記圧電体素子に対して５００Ｎのプリセット荷重を付与した状態で，分極方向と同じ方向に１．２Ｅｃの電界を与えたときの静的伸びから算出される見掛けの圧電定数ｄ（１．２Ｅｃ）と，分極方向と同じ方向に０．１Ｅｃの電界を与えたときの静的伸びから算出される見掛けの圧電定数ｄ（０．１Ｅｃ）との間に，ｄ（０．１Ｅｃ）／ｄ（１．２Ｅｃ）＞０．４３の関係が成立することを特徴とするインジェクタ用圧電体素子。

【請求項２】　請求項１において，上記圧電定数ｄ（１．２Ｅｃ）と，上記圧電定数ｄ（０．１Ｅｃ）との間に，ｄ（０．１Ｅｃ）／ｄ（１．２Ｅｃ）≧０．５の関係が成立することを特徴とするインジェクタ用圧電体素子。

【請求項３】　インジェクタに内蔵されると共に該インジェクタの駆動力を発生する圧電体素子であって，該圧電体素子は，印加電圧に応じて変位する複数の圧電層と印加電圧供給用の内部電極層とを交互に積層してなり，かつ，該圧電体素子は，５００Ｎのプリセット荷重を付与した状態で０から１．５ｋＶ／mmの電界強度がｓｉｎ波で生ずるように交流電圧を印加した場合において，印加する電圧の周波数を１Ｈｚから２００Ｈｚまで変化させた場合の変位量の変化率が９％より小であることを特徴とするインジェクタ用圧電体素子。

【請求項４】　インジェクタに内蔵されると共に該インジェクタの駆動力を発生する圧電体素子であって，該圧電体素子は，印加電圧に応じて変位する複数の圧電層と印加電圧供給用の内部電極層とを交互に積層してなり，かつ，該圧電体素子は，−４０℃〜１５０℃の範囲内において，温度の上昇により変位量が増加することを特徴とするインジェクタ用圧電体素子。

【請求項５】　請求項４において，−４０℃〜１５０℃の温度範囲における変位量の増加率は，５〜４０％であることを特徴とするインジェクタ用圧電体素子。

【請求項６】　インジェクタに内蔵されると共に該インジェクタの駆動力を発生する圧電体素子であって，該圧電体素子は，印加電圧に応じて変位する複数の圧電層と印加電圧供給用の内部電極層とを交互に積層してなり，かつ，該圧電体素子は，Ｐ−Ｅヒステリシスから求めた誘電損失が８％より小であることを特徴とするインジェクタ用圧電体素子。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【技術分野】本発明は，インジェクタの駆動源として用いられる積層型の圧電体素子に関する。

【０００２】

【従来技術】自動車の内燃機関等のインジェクタ（燃料噴射装置）は，例えば，高圧燃料を蓄積したコモンレールに接続された３方弁又は２方弁の弁体を動かすことにより，燃料通路の開閉状態を切り替えてノズルニードルに付与される圧力状態を変化させ，ノズルニードルを開弁状態にすることにより燃料を噴射するよう構成されている。

【０００３】そして，上記弁体を動かす駆動源としては，電磁弁等が一般的に使用されている。これに対し，上記駆動源をきめ細かく制御して燃料噴射状態の精密な制御を行うことを目的に，例えば特開平１１−２２９９９３号公報に示されるように，上記駆動源として積層型の圧電体素子を使用しようとする試みがなされてきた。

【０００４】

【解決しようとする課題】しかしながら，圧電体素子を駆動源に用いたインジェクタは，上記のごとく提案されているものの，実用化には未だ至っていない。インジェクタにおいては，非常に高速で燃料の噴霧を繰り返す必要がある。例えば，１分間に１万回以上の噴霧を行う場合もある。そのため，この駆動源となる圧電体素子には非常に過酷な使用状態が課せられる。そして，従来の圧電体素子においては，割れ等を起こすことなく上記のような過酷な使用状態に十分に耐えうるものは未だ開発されていなかった。

【０００５】本発明は，かかる従来の問題点に鑑みてなされたもので，インジェクタに適用した場合に長時間にわたって使用可能な耐久性に優れた圧電体素子を提供しようとするものである。

【０００６】

【課題の解決手段】請求項１の発明は，インジェクタに内蔵されると共に該インジェクタの駆動力を発生する圧電体素子であって，該圧電体素子は，印加電圧に応じて変位する複数の圧電層と印加電圧供給用の内部電極層とを交互に積層してなり，かつ，該圧電体素子は，その抗電界をＥｃとした場合に，上記圧電体素子に対して５００Ｎのプリセット荷重を付与した状態で，分極方向と同じ方向に１．２Ｅｃの電界を与えたときの静的伸びから算出される見掛けの圧電定数ｄ（１．２Ｅｃ）と，分極方向と同じ方向に０．１Ｅｃの電界を与えたときの静的伸びから算出される見掛けの圧電定数ｄ（０．１Ｅｃ）との間に，ｄ（０．１Ｅｃ）／ｄ（１．２Ｅｃ）＞０．４３の関係が成立することを特徴とするインジェクタ用圧電体素子にある。

【０００７】本発明において最も注目すべき点は，ｄ（０．１Ｅｃ）／ｄ（１．２Ｅｃ）が０．４３より大であることである。圧電体素子が変位する際には，電圧印可によってほぼ直ちに変位を始める圧電変位成分と，電圧印可後遅れを持って変位を始める９０°回転成分とが存在し，これらの合計が全体の変位量となる。

【０００８】本発明者らは，更に，抗電界Ｅｃ（詳細は後述する）の１．２倍の電界を与えた際の変位量は，上記圧電変位成分と９０°回転成分との合計のものであり，抗電界Ｅｃの０．１倍の電界を与えた際の変位量は，９０°回転成分がほとんどなく，ほぼ圧電変位成分だけによる変位量であることを見出した。

【０００９】そのため，これらの見掛け上の圧電定数ｄをそれぞれ求めて，それらの比を算出すれば，上記圧電体素子における変位に寄与する圧電変位成分の存在比率を得ることができる。即ち，上記ｄ（０．１Ｅｃ）／ｄ（１．２Ｅｃ）は，圧電体素子が変位する際の圧電変位成分の存在比率を代用した値となるのである。

【００１０】ここで，本発明では，上記ｄ（０．１Ｅｃ）／ｄ（１．２Ｅｃ）の値を０．４３より大きい値とする。これにより，変位成分の内，圧電変位成分の存在比率が９０°回転成分よりも高い圧電体素子を得ることができる。そして，この場合には，９０°回転成分の比率が少ないので，圧電体素子の変位の繰り返しに伴う発熱量を少なくすることができる。また，それ故，圧電体素子の耐久性を向上させることができる。

【００１１】したがって，本発明によれば，インジェクタに適用した場合に長時間にわたって使用可能な耐久性に優れた圧電体素子を提供することができる。

【００１２】また，請求項２の発明のように，上記圧電定数ｄ（１．２Ｅｃ）と，上記圧電定数ｄ（０．１Ｅｃ）との間に，ｄ（０．１Ｅｃ）／ｄ（１．２Ｅｃ）≧０．５の関係が成立することがより好ましい。これにより，上記作用効果をさらに確実に発揮させることができる。

【００１３】次に，請求項３の発明は，インジェクタに内蔵されると共に該インジェクタの駆動力を発生する圧電体素子であって，該圧電体素子は，印加電圧に応じて変位する複数の圧電層と印加電圧供給用の内部電極層とを交互に積層してなり，かつ，該圧電体素子は，５００Ｎのプリセット荷重を付与した状態で0から１．５ｋＶ／ｍｍの電界強度がｓｉｎ波で生ずるように交流電圧を印加した場合において，印加する電圧の周波数を１Ｈｚから２００Ｈｚまで変化させた場合の変位量の変化率が９％より小であることを特徴とするインジェクタ用圧電体素子にある。

【００１４】本発明において最も注目すべき点は，上記の条件における変位量の変化率が９％より小であることである。この変化率が９％以上の場合には，圧電体素子の駆動速度をあまり高めることができない。なお，この変化率は小さければ小さいほど，より高速な駆動が可能となるため好ましい。それ故，７％以下がより好ましい。上記変位量の変化率は，印加する電圧の周波数が１Ｈｚの場合の変位量をY_1，２００Ｈｚの場合の変位量をY_{200}とした場合，１００×（Y_1－Y_{200}）／Y_1により表した値である。また，変位量は，電圧印加後５秒後の値とする。

【００１５】次に，本発明の作用効果につき説明する。本発明の圧電体素子は，上記変位量の変化率が９％より小さい。すなわち，印加する周波数を高めても，変位量があまり低下しない。そして，周波数を高めて駆動速度を高めても十分な変位量が得られる。したがって，本発明の圧電体素子は，安定して駆動速度を高められる。そして，たとえ１分間の噴射回数が１万回であっても余裕を持って圧電体素子の変位（伸縮）を繰り返すことができる。それゆえ，本発明の圧電体素子は，インジェクタに適用した場合に優れた耐久性を発揮し，長時間にわたって使用可能である。

【００１６】次に，請求項４の発明は，インジェクタに内蔵されると共に該インジェクタの駆動力を発生する圧電体素子であって，該圧電体素子は，印加電圧に応じて変位する複数の圧電層と印加電圧供給用の内部電極層とを交互に積層してなり，かつ，該圧電体素子は，－４０℃～１５０℃の範囲内において，温度の上昇により変位量が増加することを特徴とするインジェクタ用圧電体素子にある。

【００１７】本発明において最も注目すべき点は，上記特定の温度範囲における変位量が，温度の上昇に伴って増加することである。

【００１８】次に，本発明の作用効果につき説明する。圧電体素子を用いたインジェクタにおいては，燃料の粘性が低下しリーク燃料が増大することによる変位ロス及び燃料の体積弾性率低下による変位ロスが生じるため，温度上昇に伴って圧電体素子の必要変位量が増大する。

【００１９】この必要変位量の変化に対しては，これを補正するための制御回路が必要となる。しかし，回路による補正を行うためには制御回路規模の大型化を招いてしまう。これに対し，本発明の圧電体素子は，温度上昇に伴って変位量を増大させる特性を有している。そのため，その変位量を制御する制御回路を比較的簡単な構造とし，その小型化を図ることができる。それゆえ，本発明の圧電体素子は，インジェクタへの適用が容易となる。

【００２０】また，請求項５の発明のように，－４０℃～１５０℃の温度範囲における変位量の増加率は，５～４０％であることが好ましい。この場合には，上記の温度上昇に伴う圧電体素子の必要変位量の増大を容易に補うことができる。上記変位量の変化率は，－４０℃の場合の変位量をY_{-40}，１５０℃の場合の変位量をY_{150}とした場合，１００×（Y_{150}－Y_{-40}）／Y_{-40}により表した値である。

【００２１】次に，請求項６の発明は，インジェクタに内蔵されると共に該インジェクタの駆動力を発生する圧電体素子であって，該圧電体素子は，印加電圧に応じて変位する複数の圧電層と印加電圧供給用の内部電極層とを交互に積層してなり，かつ，該圧電体素子は，Ｐ－Ｅ

ヒステリシスから求めた誘電損失が８％より小であることを特徴とするインジェクタ用圧電体素子にある。

【００２２】本発明において最も注目すべき点は，上記Ｐ−Ｅヒステリシスから求めた誘電損失が８％より小であることである。上記Ｐ−Ｅヒステリシスは，横軸に印可した電界強度Ｅを，縦軸に電荷Ｐをとったグラフにおいて，上記電界強度を１．５ｋＶ／ｍｍまで上昇させた後低下させた際の電荷Ｐの値の軌跡をとって得られるものである（実施形態例参照）。

【００２３】このＰ−Ｅヒステリシスから求めた誘電損失が８％以上の場合には，発熱温度が高くなって，駆動速度をあまり高められないという問題がある。そのため，７％以下とすることがより好ましい。なお，このＰ−Ｅヒステリシスから求めた誘電損失は，小さければ小さいほど，発熱が抑えられることから好ましい。

【００２４】次に，本発明の作用効果につき説明する。本発明の圧電体素子は，上記のごとくＰ−Ｅヒステリシスから求めた誘電損失が８％より小である。そのため，後述する実施形態例にも示すように，圧電体素子を高速で駆動した場合においても，圧電体素子の発熱を抑制することができ，耐久性を著しく向上させることができる。それゆえ，本発明の圧電体素子は，インジェクタに適用した場合に優れた耐久性を発揮し，長時間にわたって使用可能である。

【００２５】

【発明の実施の形態】実施形態例１

本発明の実施形態例にかかるインジェクタ用圧電体素子につき，図１〜図５を用いて説明する。本例のインジェクタ用圧電体素子１は，図５に示すごとく，インジェクタ５に内蔵されると共にインジェクタ５の駆動力を発生する圧電体素子である。該圧電体素子１は，図１に示すごとく，印加電圧に応じて変位する複数の圧電層１１と印加電圧供給用の内部電極層２１，２２とを交互に積層してなる。そして，圧電体素子１は，その抗電界をＥｃとした場合に，圧電体素子１に対して５００Ｎのプリセット荷重を付与した状態で，分極方向と同じ方向に１．２Ｅｃの電界を与えたときの静的伸びから算出される見掛けの圧電定数ｄ（１．２Ｅｃ）と，分極方向と同じ方向に０．１Ｅｃの電界を与えたときの静的伸びから算出される見掛けの圧電定数ｄ（０．１Ｅｃ）との間に，ｄ（０．１Ｅｃ）／ｄ（１．２Ｅｃ）＞０．４３の関係が成立する。以下，これを詳説する。

【００２６】圧電体素子１は，図１，図２に示すごとく，上記圧電層１１の層間に上記内部電極層２１，２２を交互に正負となるように形成してなる。同図に示すごとく，一方の内部電極層２１は一方の側面１０１に露出するように配設され，他方の内部電極層２２は他方の側面１０２に露出するように配設されている。そして，圧電体素子１の側面１０１，１０２には，露出した内部電極層２１，２２の端部を導通させるように側面電極３１，３２を形成した。

【００２７】また，圧電体素子１においては，積層方向の中央部分を駆動部１１１，これを挟持するように配置された部分をバッファー部１１２，さらにこのバッファー部１１２を挟持するように配置された部分をダミー部１１３とした。

【００２８】この圧電体素子１の製造方法と詳細構造について説明する。本例の圧電体素子１は広く用いられているグリーンシート法を用いて製造することができる。グリーンシートは，公知の方法により圧電材料の主原料となる酸化鉛，酸化ジルコニウム，酸化チタン，酸化ニオブ，炭酸ストロンチウム等の粉末を所望の組成となるように秤量する。本例では，最終的な組成がいわゆるＰＺＴ（ジルコン酸チタン酸鉛）となるようにした。また，鉛の蒸発を考慮して，上記混合比組成の化学量論比よりも１〜２％リッチになるように調合する。なお，本例では，ＰＺＴの組成成分の含有量の微調整を行って，上述したｄ（０．１Ｅｃ）／ｄ（１．２Ｅｃ）が０．４３より大，好ましくは０．５以上となることをねらった。そしてこれらの原料を混合機にて乾式混合し，その後８００〜９５０℃で仮焼する。

【００２９】なお，上記ｄ（０．１Ｅｃ）／ｄ（１．２Ｅｃ）が０．４３より大，好ましくは０．５以上となる圧電セラミックスとしては，上記ＰＺＴの組成成分を調整したものの他，種々の圧電セラミックスを利用してその組成成分を調整することにより得ることもできる。

【００３０】次いで，仮焼粉に純水，分散剤を加えてスラリーとし，パールミルにより湿式粉砕する。この粉砕物を乾燥，粉脱脂した後，溶剤，バインダー，可塑剤，分散剤等を加えてボールミルにより混合する。その後，このスラリーを真空装置内で攪拌機により攪拌しながら真空脱泡，粘度調整をする。

【００３１】次いで，スラリーをドクターブレード装置により一定厚みのグリーンシートに成形する。回収したグリーンシートはプレス機で打ち抜くか，切断機により切断し，所定の大きさの矩形体に成形する。グリーンシートは駆動部，バッファー部およびダミー部に共通である。

【００３２】次いで，例えば銀／パラジウム＝７／３の比率からなる銀およびパラジウムのペースト（以下，Ａｇ／Ｐｄペーストという）により，成形後のグリーンシートの一方の表面にパターンをスクリーン印刷成形する。図３（ａ）にパターン印刷後のグリーンシートの一例を示す。なお説明の都合上，実質的に同一部分には同一の符号を付す。

【００３３】圧電層となるグリーンシート１１の表面には，上記Ａｇ／Ｐｄペーストにより，略全面にこれよりもやや小さなパターン２１（２２）を形成し，内部電極層２１（２２）とする。グリーンシート１１の表面の対向辺の一方の側には，内部電極層２１（２２）の非形成

部１１９が設けてある。つまり，グリーンシート１１の対向辺の一方の端部（圧電体素子１の側面１０１あるいはあ１０２に相当する部分）には，内部電極層２１（２２）が到達せず，対向する他方の端部には内部電極層２１（２２）が到達するようにこれを配置した。

【００３４】このような内部電極層２１（２２）を形成したグリーンシート１１は，駆動部１１１，バッファー部１１２変位量の要求仕様に基づいて所定の積層枚数分用意する。また，バッファー部１１２，ダミー部１１３用の内部電極層を印刷していないグリーンシート１２も必要枚数準備する。

【００３５】次いで，これらのグリーンシート１１，１２を重ねる。図4は，グリーンシート１１，１２の積層状態を示すもので，実質的に圧電体素子１の分解図となっている。内部電極層２１（２２）を形成したグリーンシート１１を重ねる場合には，電極の非形成部１１９が図中左側と右側に交互に位置するように重ねる。これにより，グリーンシート１１の図中右側の側面１０１に達して露出する内部電極層２１が一方の極の内部電極となり，図中左側の側面１０２に達して露出している内部電極層２２が他方の極の内部電極となる。

【００３６】そして，中央の駆動部１１１においては，図4に示すごとく上記内部電極層２１（２２）を形成したグリーンシート１１のみを用いて積層し，バッファー部１１２においてグリーンシート１１の間に内部電極層を形成していないグリーンシート１２を介在させて積層し，ダミー部１１３においては内部電極層を形成していないグリーンシート１２のみを用いて積層する。これにより，図2示す構造の積層体となる。

【００３７】次いで，温水ラバープレス等による熱圧着後，電気炉により４００～７００℃のもとで脱脂し，９００～１２００℃のもとで焼成する。次いで，上記積層体の側面に上記Ａｇ／ＰｄペーストまたはＡｇペースト等を塗布，焼き付けることにより外部電極３１，３２を形成する。外部電極３１は，一方の極の内部電極層２１が露出している位置に形成し，各内部電極層２１の導通をとる。他方の外部電極３２は，他方の極の内部電極層２２が露出している位置に形成し，各内部電極層２２の導通をとる。その後，これを絶縁油中に浸漬し外部電極３１，３２から内部電極層２１，２２間に直流電圧を印加して圧電層１１を分極し，圧電体素子１を得る。

【００３８】なお，上記ダミー部１１３は，上記のごとく駆動部１１１に用いた圧電層１１と同じ材質のグリーンシート（圧電層）１２を用いることにより，製造材料の種類が増えないようにして製造コストの低減を図った。しかしながら，このダミー部１１３の圧電層１２を別の材料から構成してもよく，たとえば絶縁性の磁性材料により構成することもできる。

【００３９】ここで，本例の圧電体素子１において重要な点は，その抗電界をＥｃとした場合に，圧電体素子１に対して５００Ｎのプリセット荷重を付与した状態で，分極方向と同じ方向に１．２Ｅｃの電界を与えたときの静的伸びから算出される見掛けの圧電定数ｄ（１．２Ｅｃ）と，分極方向と同じ方向に０．１Ｅｃの電界を与えたときの静的伸びから算出される見掛けの圧電定数ｄ（０．１Ｅｃ）との間に，ｄ（０．１Ｅｃ）／ｄ（１．２Ｅｃ）＞０．４３の関係が成立する点である。

【００４０】ここで，まず抗電界Ｅｃについて説明する。図6は，上記抗電界Ｅｃの説明図である。同図は，横軸に圧電体素子に付与する電界強度（電圧）を，縦軸に変位量をとったものである。なお，電界強度は，分極方向と同じ側をプラス（＋）とし，分極方向と反対側をマイナス（－）とする。

【００４１】そして，Ａ点からスタートし，まず圧電体素子１に分極方向と同じ方向に電界強度印可し，その値を徐々に高めていく。これにしたがって，圧電体素子１の変位量は増加していく。次に，電界強度が１５０ＶのＢ点に達した後，徐々に電界強度を低くする。今度はこの電界強度の低下にしたがって，変位量が減少していく。そして電界強度が０となった後も，連続して分極方向と逆の方向に電界強度を徐々に低下させる。これにしたがって，変位量は更に減少していく。本例では，電界強度が－９０Ｖになった時点（Ｃ点）で，突然変異量が増加に転じる。この点の電界強度の絶対値（９０Ｖ）が本発明における抗電界Ｅｃである。

【００４２】そして，その後，電界強度が－１５０ＶのＤ点に達した後，再び電界強度を高めていく。これにしたがって，今度は変位量が減少していく。そして，電界強度が０となり，さらに分極方向に電界強度を高めていくと，突然変異量が増加に転じる。このＤ点の電界強度も抗電界と呼ばれるが，本発明でいうＥｃとはしない。本発明では，あくまでも，分極方向と逆の方向に電圧を印可した際の抗電界をＥｃとする。その後さらに電界強度を高めることによって，最終的にＢ点とほぼ同じ状態になり，その後は同様な挙動を繰り返す。

【００４３】上記のごとく求めたＥｃを基にして，上記各圧電定数ｄ（０．１Ｅｃ）及びｄ（１．２Ｅｃ）を求める。圧電定数は，徐々に印可する電界強度を増加させた際の変位の変化率，即ち，電界強度と変位量の関係のグラフを作成した際のグラフの傾きにより求めることができる。そのため，本例では，分極方向と同じ方向に１５０Ｖの電界強度を印可させる場合の変位－電圧ヒステリシスを求めた。

【００４４】図7は，横軸に電界強度（電圧）（Ｖ）を，縦軸に変位量（μｍ）をとったものである。そして，圧電体素子１の上下から５００Ｎのプリセット荷重を付与した状態で，分極方向と同じ方向に電圧を印可し，その値を徐々に増加する。そして，その変位量の軌跡を図7にプロットする。本例では，電界強度が１５０Ｖとなるまで行った。なお，同図には，電界強度を１５

０Ｖから徐々に０になるまで低下させた場合もプロットしてヒステリシス曲線を求めたが，本例では電界強度を増加させている場合のみが重要である。

【００４５】そして，上記各圧電定数は，電界強度を増加させている場合において，その値が０．１Ｅｃ（９Ｖ）である場合の変化率と，１．２Ｅｃ（１０８Ｖ）である場合の変化率によって定めることができる。本例では，圧電定数ｄ（０．１Ｅｃ）は０．３７，圧電定数ｄ（１．２Ｅｃ）は０．６８であった。したがって，これらの比は，０．３７／０．６８により得られ，０．５４であり，十分に０．４３を上回っていた。

【００４６】次に，上記構成の圧電体素子１を駆動源として用いることができるインジェクタの一例について簡単に説明する。インジェクタ５は，図５に示すごとく，ディーゼルエンジンのコモンレール噴射システムに適用したものである。このインジェクタ５は，同図に示すごとく，駆動部としての上記圧電体素子１が収容される上部ハウジング５２と，その下端に固定され，内部に噴射ノズル部５４が形成される下部ハウジング５３を有している。

【００４７】上部ハウジング５２は略円柱状で，中心軸に対し偏心する縦穴５２１内に，圧電体素子１が挿通固定されている。縦穴５２１の側方には，高圧燃料通路５２２が平行に設けられ，その上端部は，上部ハウジング５２上側部に突出する燃料導入管５２３内を経て外部のコモンレール（図略）に連通している。

【００４８】上部ハウジング５２上側部には，また，ドレーン通路５２４に連通する燃料導出管５２５が突設し，燃料導出管５２５から流出する燃料は，燃料タンク（図略）へ戻される。ドレーン通路５２４は，縦穴５２１と駆動部（圧電体素子）１との間の隙間５０を経由し，さらに，この隙間５０から上下ハウジング５２，５３内を下方に延びる図示しない通路によって後述する３方弁５５１に連通してしる。

【００４９】噴射ノズル部５４は，ピストンボデー５３１内を上下方向に摺動するノズルニードル５４１と，ノズルニードル５４１によって開閉されて燃料溜まり５４２から供給される高圧燃料をエンジンの各気筒に噴射する噴孔５４３を備えている。燃料溜まり５４２は，ノズルニードル５４１の中間部周りに設けられ，上記高圧燃料通路５２２の下端部がここに開口している。ノズルニードル５４１は，燃料溜まり５４２から開弁方向の燃料圧を受けるとともに，上端面に面して設けた背圧室５４４から閉弁方向の燃料圧を受けており，背圧室５４４の圧力が降下すると，ノズルニードル５４１がリフトして，噴孔５４３が開放され，燃料噴射がなされる。

【００５０】背圧室５４４の圧力は３方弁５５１によって増減される。３方弁５５１は，背圧室５４４と高圧燃料通路５２２，またはドレーン通路５２４と選択的に連通させる構成である。ここでは，高圧燃料通路５２２またはドレーン通路５２４へ連通するポートを開閉するボール状の弁体を有している。この弁体は，上記駆動部１により，その下方に配設される大径ピストン５５２，油圧室５５３，小径ピストン５５４を介して，駆動される。

【００５１】次に，本例の作用効果につき説明する。本例の圧電体素子１は，上記圧電定数の比ｄ（０．１Ｅｃ）／ｄ（１．２Ｅｃ）が０．４３より大，好ましくは０．５以上である。そのため，耐熱性にすぐれると共に非常にすぐれた耐久性を発揮する。即ち，上記のごとく圧電定数の比ｄ（０．１Ｅｃ）／ｄ（１．２Ｅｃ）が０．４３より大であるので，上記圧電体素子１は，その変位成分のうち効率のよい圧電変位成分が半分以上を占めている。そのため，変位を繰り返した際のエネルギーロスが少なく，また自己発熱も少ない。上記圧電定数の比ｄ（０．１Ｅｃ）／ｄ（１．２Ｅｃ）が０．４３以下の場合に比べて，耐熱性にもすぐれ，かつ，耐久性も向上する。それゆえ，本例の圧電体素子１は，インジェクタ５に適用した場合に優れた耐久性を発揮し，長時間にわたって使用可能である。

【００５２】実施形態例２

本例では，実施形態例１における圧電体素子１と同様の構造であるが，圧電層の組成が異なる４種類の圧電体素子（試料１～試料４）を準備し，上記圧電定数の比ｄ（０．１Ｅｃ）／ｄ（１．２Ｅｃ）をそれぞれ求めた。そして，各圧電体素子の自己発熱による温度上昇を測定した。また，その結果を基にして，圧電体素子の耐久性を判断した。準備した圧電体素子はいずれも圧電層としてＰＺＴを用いたものであるが，その成分組成を変化させ，上記圧電定数の比が異なるように調整した。

【００５３】表１には，各試料における圧電定数の比ｄ（０．１Ｅｃ）／ｄ（１．２Ｅｃ）の測定値を示した。この測定方法は上述した実施形態例１の場合と同じである。また，自己発熱による温度上昇の測定は，印可電圧０～１．５ｋＶ／ｍｍ，周波数２００Ｈｚとして圧電体素子を駆動させ，積層方向中央の側面表面の温度を測定することにより行った。

【００５４】その結果を表１に示す。表１より知られるごとく，上記比ｄ（０．１Ｅｃ）／ｄ（１．２Ｅｃ）が０．４３より大の場合には，いずれも自己発熱による上昇温度が１００℃以下に抑制された。これに対し，上記比が０．４３以下の場合には，１００℃を超えるような温度上昇が見られた。これらの温度上昇等から予測すれば，例えば1×10^{9}回作動させる耐久試験を行った場合において，上記比が０．４３より大のものはこれをクリア（○）してすぐれた耐久性を示し，０．４３以下の場合には，この試験をクリアできず（×）耐久性の向上がみられないと考えられる。

【００５５】

【表１】

（表1）

試料	圧電定数 d(0.1Ec)／d(1.2Ec)	上昇温度 (℃)	耐久性
1	0.40	118	×
2	0.43	110	×
3	0.50	98	○
4	0.65	80	○

【００５６】実施形態例３
本例では，実施形態例２における４つの試料（試料１〜試料４）を用い，各圧電体素子の印加電圧の周波数に対する変位量の変化率を測定した。具体的には，各試料に対して５００Ｎのプリセット荷重を付与した状態で，０から１．５ｋＶ／ｍｍの電界強度がｓｉｎ波で生ずるように交流電圧を印加した。そして，図８に示すごとく，印加する電圧の周波数を１Ｈｚから２００Ｈｚまで徐々に変化させ圧電体素子の変位量を求めた。図８は，変位量の変化率を示す一例であって，横軸に印加電圧の周波数を，縦軸に圧電体素子の変位量をとったものである。＊

＊【００５７】表２に，各試料の上記変位量の変化率を示すと共に，圧電体素子の自己発熱による上昇温度の測定結果を示した。その結果，変位変化率が９％より小，好ましくは７．０％以下の場合には，上昇温度も１００℃以下に抑制された。それ故，その耐久性もすぐれている（○）と考えられた。また，変位変化率が９％以上の場合には，上昇温度も高く，耐久性の向上はあまり期待できない（×）。

【００５８】

【表２】

（表2）

試料	変位変化率(%)	上昇温度 (℃)	耐久性
1	12	118	×
2	9	110	×
3	7	98	○
4	3	80	○

【００５９】実施形態例４
本例では，実施形態例２における４つの試料（試料１〜試料４）を用い，各圧電体素子のＰ−Ｅヒステリシス（電荷−電圧ヒステリシス）から誘電損失を求め，この値と自己発熱による上昇温度との関係を調べた。まず，各試料のＰ−Ｅヒステリシスは次のように求めた。

【００６０】図９に示すごとく，測定治具６を準備した。測定治具６は，台座６１上に立設した２本のガイドポール６２を有している。このガイドポール６２には，ブリッジ部６３が配設されており，このブリッジ部６３の中央に押圧板６４１を有する押圧部６４を配設してある。圧電体素子１は，押圧板６４１と台座６１との間に挟むように配置する。そして，押圧板６４１は，これとブリッジ部６３との間に配設した皿バネ６５によって，１０ＭＰａの予荷重（プリセット荷重）を付与する。

【００６１】この状態で，圧電体素子１に対して，電界強度０〜１．５ｋＶ／ｍｍ，周波数１００Ｈｚ，ｓｉｎ波の電圧を印加し，図１０に示すごときヒステリシスを求める。同図は，横軸にＥ：電界（Ｖ／ｍｍ），縦軸にＰ：電流の積分値（電荷密度）（Ｃ／ｍｍ^2）をとったものである。そして，電圧を分極方向と同じ方向に徐々に増加させ，その後徐々に減少させた場合の上記Ｐの軌跡をプロットした。※

※【００６２】そしてまず，同図に示すごとく，得られたヒステリシス曲線に囲まれた部分の面積をＳ１とする。次に，図１１に示すごとく，原点ＯとＰの最高値点Ｑとを結んだ線，上記Ｑから横軸に垂下した線及び横軸により囲まれる三角形の面積Ｓ２を求める。これらの値を用いることにより誘電損失を算出することができる。即ち，誘電損失（％）はＳ１／Ｓ２／（２π）×１００により算出することができる。

【００６３】このようにして得られた誘電損失は，通常行われるようなインピーダンスアナライザにて１Ｖにて測定される誘電損失に比べて，圧電体素子を実使用した場合に生じる誘電損失を見積もることが可能である。

【００６４】次に，上記のようにして各試料１〜４に対して求めた誘電損失を表３に示す。また，実施形態例１と同様にして求めた自己発熱による上昇温度も合わせて示す。表３より知られるごとく，上記Ｐ−Ｅヒステリシスを基にして求めた誘電損失が８％よりも小，好ましくは７％以下の場合には，自己発熱による温度温度も１００℃以下に抑制された。それ故，その耐久性もすぐれている（○）と考えられた。また，変位変化率が８％以上の場合には，上昇温度も高く，耐久性の向上はあまり期待できない（×）。

【００６５】

【表３】

（表3）

試料	誘電損失(%)	上昇温度(℃)	耐久性
1	10	118	×
2	8	110	×
3	7	98	○
4	2	80	○

【００６６】なお，本願発明は，圧電体素子の形状によらずその作用効果を得ることが可能であり，例えば図１２に示されるように，圧電体素子１が断面タル型形状の場合にも上記と同様の作用効果を得ることができる。さらに，図１３に示すごとく，圧電体素子１が断面八角形の場合においても上記と同様の作用効果を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図１】実施形態例１における，圧電体素子の斜視図。

【図２】実施形態例１における，圧電体素子の構造を示す縦断面図。

【図３】実施形態例１における，（ａ）内部電極層を印刷したグリーンシート，（ｂ）内部電極層を印刷していないグリーンシート，の平面図。

【図４】実施形態例１における，圧電体素子の分解斜視図。

【図５】実施形態例１における，インジェクタの構成を示す説明図。

【図６】実施形態例１における，抗電界Ｅｃを示す説明図。

【図７】実施形態例１における，圧電定数ｄ（０．１Ｅ＊ｃ）及びｄ（１．２Ｅｃ）を示す説明図。

【図８】実施形態例３における，周波数に対する変位量の変化率を示す説明図。

【図９】実施形態例３における，測定治具を示す説明図。

【図１０】実施形態例３における，Ｐ−Ｅヒステリシスおよび面積Ｓ１を示す説明図。

【図１１】実施形態例３における，Ｐ−Ｅヒステリシスおよび面積Ｓ２を示す説明図。

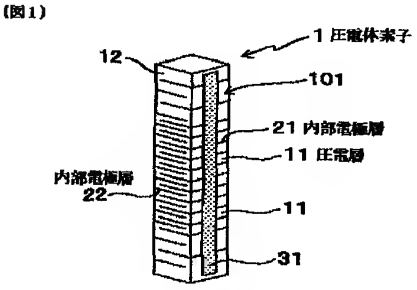
【図１２】他の実施形態例における，タル型の圧電体素子を示す説明図。

【図１３】他の実施形態例における，断面八角形の圧電体素子を示す説明図。

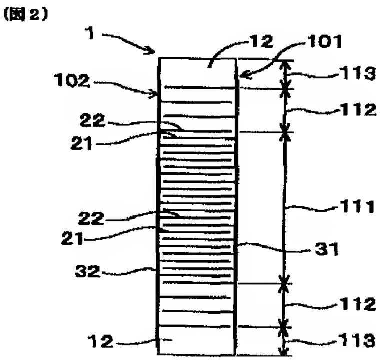
【符号の説明】

１．．．圧電体素子，
１１，１２．．．圧電層（グリーンシート），
２１，２２．．．内部電極層，
３１，３２．．．外部電極，
３１５，３２５．．．電極取出し部，
５．．．インジェクタ，
６．．．測定治具，

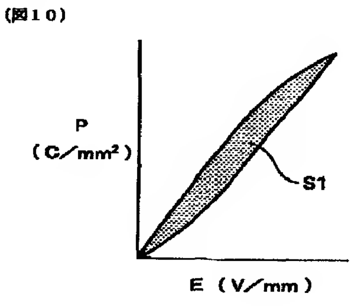
【図１】


(図1)
12
1 圧電体素子
101
21 内部電極層
11 圧電層
内部電極層
22
11
31

【図２】

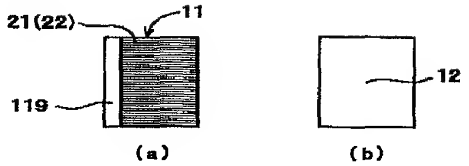

(図2)
1
12
101
113
102
112
22
21
111
22
21
31
32
112
12
113

【図１０】



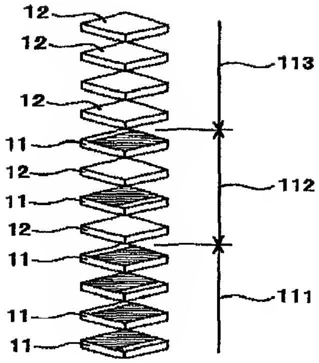
【図3】

(図3)


21(22)
11
119
12
(a)
(b)

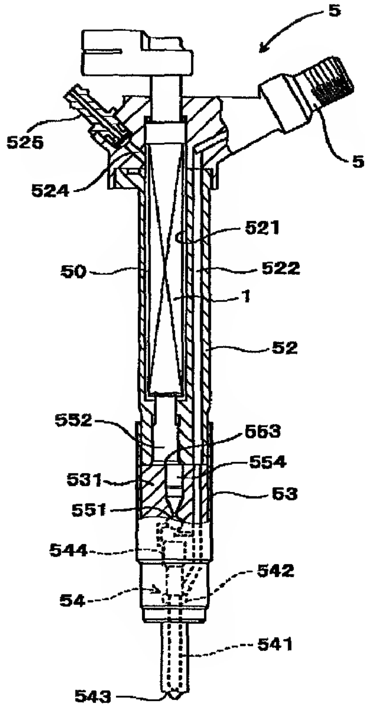
【図4】

(図4)


12
12
12
11
12
11
12
11
11
11
113
112
111

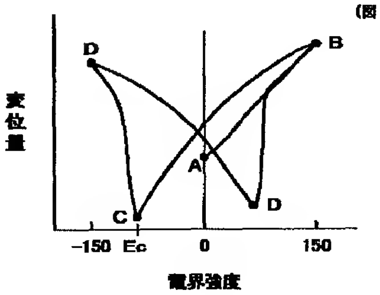
【図5】

(図5)


5
525
523
524
521
50
522
1
52
552
553
554
531
53
551
544
542
54
541
543

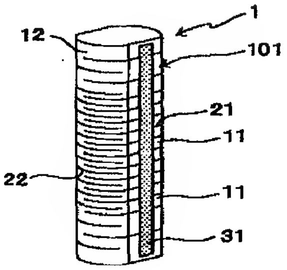
【図6】

(図6)



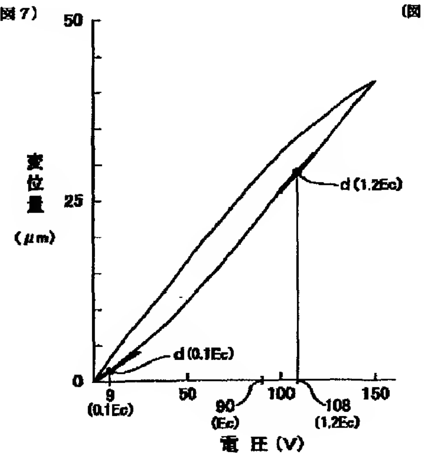
【図12】

(図12)


1
12
101
21
11
22
11
31

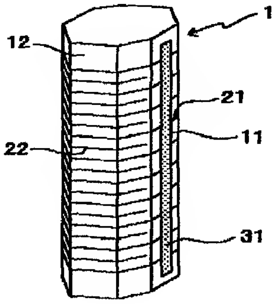
【図7】

(図7)



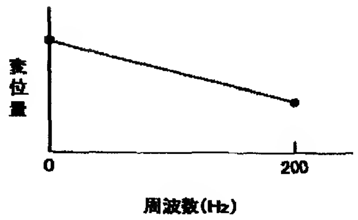
【図13】

(図13)

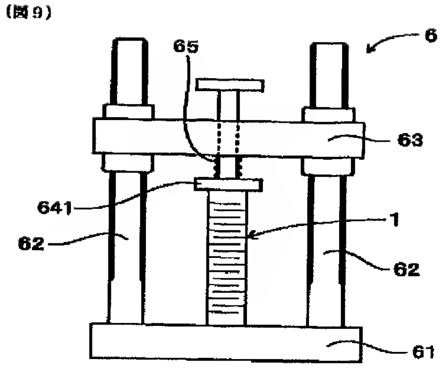

1
12
21
22
11
31

【図8】

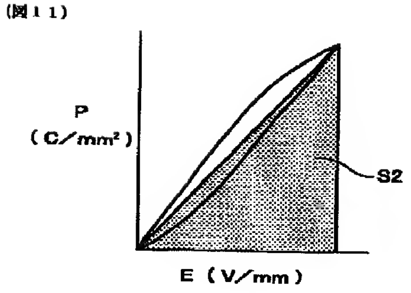
(図8)



【図9】


(図9)
6
65
63
641
1
62
62
61

【図１１】



フロントページの続き

(72)発明者　山本　孝史 愛知県刈谷市昭和町１丁目１番地　株式会社デンソー内	Ｆターム(参考)　3G066 AD07 BA46 CC06U CC14 CD28 CE27 CE31